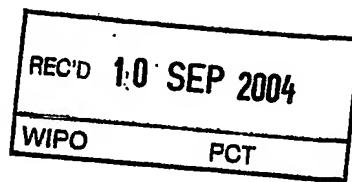




PCT/FR 2004 / 050298



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

BEST AVAILABLE COPY

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 03 AOUT 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, enclosed in a stylized oval frame.

Martine PLANCHE

CUMENT DE PRIORITÉ

ÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

26bis, rue de Saint-Pétersbourg
75800 Paris Cédex 08
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| DATE DE REMISE DES PIÈCES: <i>1.07.2003</i> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: <i>0350978</i> DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: <i>75</i> DATE DE DÉPÔT: <i>1.07.2003</i> | Jean LEHU BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS France |
| Vos références pour ce dossier: B14265.3 JL DD2446 | |

1 NATURE DE LA DEMANDE

Demande de brevet

2 TITRE DE L'INVENTION

MICRO-COMMUTATEUR BISTABLE A FAIBLE CONSOMMATION.

3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE

Pays ou organisation Date N°

4-1 DEMANDEUR

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------|
| Nom | COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE |
| Rue | 31-33, rue de la Fédération |
| Code postal et ville | 75752 PARIS 15ème |
| Pays | France |
| Nationalité | France |
| Forme juridique | Etablissement Public de Caractère Scientifique, technique et Ind |

5A MANDATAIRE

| | |
|-----------------------|----------------------------------------------------|
| Nom | LEHU |
| Prénom | Jean |
| Qualité | Liste spéciale: 422-5 S/002, Pouvoir général: 7068 |
| Cabinet ou Société | BREVATOME |
| Rue | 3, rue du Docteur Lancereaux |
| Code postal et ville | 75008 PARIS |
| N° de téléphone | 01 53 83 94 00 |
| N° de télécopie | 01 45 63 83 33 |
| Courrier électronique | brevets.patents@brevalex.com |

6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS

| | Fichier électronique | Pages | Détails |
|-----------------|----------------------|-------|----------------------------------------------|
| Texte du brevet | textebrevet.pdf | 31 | D 26, R 4, AB 1 |
| Dessins | dessins.pdf | 4 | page 4, figures 11, Abrégé: page 1, Fig.2 |
| Pouvoir général | | | |

| 7 MODE DE PAIEMENT | | | |
|----------------------------------------|-------------------------------|--------|----------|
| Mode de paiement | Prélèvement du compte courant | | |
| Numéro du compte client | 024 | | |
| 8 RAPPORT DE RECHERCHE | | | |
| Etablissement immédiat: | | | |
| 9 REDEVANCES JOINTES | | | |
| 062 Dépôt | Devise | Taux | Quantité |
| 063 Rapport de recherche (R.R.) | Euro | 0.00 | 1.00 |
| 068 Revendication à partir de la 11ème | Euro | 320.00 | 1.00 |
| Total à acquitter | Euro | 15.00 | 5.00 |
| | Euro | | 75.00 |
| | Euro | | 395.00 |

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
 Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| DATE DE RECEPTION | 1 juillet 2003 |
| TYPE DE DEPOT | INPI (PARIS) - Dépôt électronique |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI | 0350278 |
| Vos références pour ce dossier | B14265.3 JL DD2446 |
| DEMANDEUR | |
| Nom ou dénomination sociale | COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE |
| Nombre de demandeur(s) | 1 |
| Pays | FR |

Dépôt en ligne: X

Dépôt sur support CD:

| | |
|---------------------------------------------------|--|
| TITRE DE L'INVENTION | |
| MICRO-COMMUTATEUR BISTABLE A FAIBLE CONSOMMATION. | |

| | | |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUMENTS ENVOYES | | |
| package-data.xml | Requetefr.PDF | fee-sheet.xml |
| Design.PDF | ValidLog.PDF | textebrevet.pdf |
| FR-office-specific-info.xml | application-body.xml | request.xml |
| dessins.pdf | indication-bio-deposit.xml | |

| | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| EFFECTUE PAR | |
| Effectué par: | J.Lehu |
| Date et heure de réception électronique: | 1 juillet 2003 14:07:45 |
| Empreinte officielle du dépôt | F9:B5:01:F4:DE:71:EA:DC:73:52:4B:A2:56:C2:AB:B9:9D:94:49:6B |

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL
 INSTITUT 28 bis, rue de Saint Peterbourg
 NATIONAL DE 75800 PARIS codex 08
 LA PROPRIETE Télephone : 01 53 04 63 04
 INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 83 59 30

**MICRO-COMMUTATEUR BISTABLE A FAIBLE CONSOMMATION****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5

La présente invention concerne un micro-commutateur bistable, à faible consommation et à déplacement horizontal.

Un tel micro-commutateur trouve notamment une utilité dans le domaine de la téléphonie mobile et dans le domaine spatial.

Les composants RF destinés à ces domaines sont soumis au cahier des charges suivant :

- tension d'alimentation inférieure à 5
- 15 volts,
- isolation supérieure à 30 dB,
- pertes d'insertion inférieures à 0,3dB,
- fiabilité correspondant à un nombre de cycles supérieur à 10^9 ,
- 20 - surface inférieure à $0,05 \text{ mm}^2$,
- consommation la plus faible possible.

Dans le cas du domaine spatial en particulier, certains commutateurs ne sont utilisés qu'une seule fois, pour basculer d'un état à un autre 25 état en cas de panne d'équipement par exemple. Pour ce type d'application, on note actuellement un très fort intérêt pour des commutateurs bistables qui ne nécessitent pas de tension d'alimentation une fois qu'ils ont basculé d'un état à l'autre.

30 On note également un fort intérêt pour des commutateurs doubles qui simplifient considérablement

les matrices de commutateurs des circuits redondants utilisées dans le cas de fonctions critiques. Ce type d'application se trouve notamment dans le domaine spatial (antennes satellites). Ces commutateurs doubles 5 permettent de basculer un signal d'entrée d'un circuit électronique à un autre en cas de panne. Ce sont donc des commutateurs qui présentent la possibilité de commuter soit un premier jeu de deux pistes électriques entre elles, soit un deuxième jeu de deux pistes 10 électriques.

Les commutateurs doubles présentent l'avantage d'obtenir des circuits comportant moins de composants (par exemple 10 fonctions de redondance demandent 10 commutateurs doubles au lieu de 20 15 commutateurs simples), ce qui signifie entre autres moins de tests de fiabilité, moins de montage, un gain de place et globalement un coût moindre.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

20

Dans le domaine des communications, les micro-commutateurs conventionnels (c'est-à-dire ceux relevant de la microélectronique) sont très largement utilisés. Ils servent dans le routage des signaux, les 25 réseaux d'accord d'impédance, l'ajustage de gain d'amplificateurs, etc... En ce qui concerne les bandes de fréquence des signaux à commuter, elles peuvent aller de quelques MHz à plusieurs dizaines de GHz.

Classiquement, pour ces circuits RF, on 30 utilise des commutateurs issus de la microélectronique, qui permettent une intégration avec l'électronique des

circuits et qui ont un coût de fabrication faible. En termes de performance, ces composants sont par contre assez limités. Ainsi, des commutateurs de type FET en silicium peuvent commuter des signaux de forte puissance à basses fréquences, mais pas à hautes fréquences. Les commutateurs de types MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) en GaAs ou les diodes PIN marchent bien à hautes fréquences, mais uniquement pour des signaux de faibles niveaux. Enfin, d'une manière générale, au-delà de 1 GHz, tous ces commutateurs microélectroniques présentent une perte d'insertion importante (classiquement autour de 1 à 2 dB) à l'état passant et une isolation assez fiable à l'état ouvert (de -20 à -25dB). Le remplacement de ces composants conventionnels par des micro-commutateurs MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) est par conséquent prometteur pour ce type d'application.

De par leur conception et leur principe de fonctionnement, les commutateurs MEMS présentent les caractéristiques suivantes :

- faibles pertes d'insertion (typiquement inférieures à 0,3dB),
- isolation importante du MHz au millimétrique (typiquement supérieure à -30dB),
- pas de non-linéarité de réponse (IP3).

On distingue deux types de contact pour les micro-commutateurs MEMS : le contact ohmique et le contact capacitif. Dans le commutateur à contact ohmique, les deux pistes RF sont contactées par un court-circuit (contact métal-métal). Ce type de contact est adapté aussi bien pour les signaux continus que

pour les signaux hautes fréquences (supérieures à 10 GHz). Dans le commutateur à contact capacitif, un espace d'air est ajusté de manière électromécanique pour obtenir une variation de capacité entre l'état fermé et l'état ouvert. Ce type de contact est particulièrement bien adapté aux hautes fréquences (supérieures à 10 GHz) mais inadéquat aux basses fréquences.

On distingue plusieurs grands principes d'actionnement pour les commutateurs MEMS.

Les micro-commutateurs à actionnement thermique que l'on peut qualifier de classiques sont non bistables. Ils offrent l'avantage d'une faible tension d'actionnement. Ils présentent plusieurs inconvénients : une consommation excessive (surtout dans le cas d'applications en téléphonie mobile), une faible vitesse de commutation (à cause de l'inertie thermique) et la nécessité d'une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

Les micro-commutateurs à actionnement électrostatique que l'on peut qualifier de classiques sont non bistables. Ils offrent les avantages d'une vitesse de commutation rapide et d'une technologie généralement simple. Ils présentent des problèmes de fiabilité, ce point étant particulièrement sensible dans le cas de commutateurs électrostatiques à faible tension d'actionnement (collage des structures). Ils nécessitent également une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

Les micro-commutateurs à actionnement électromagnétique que l'on peut qualifier de classiques

sont non bistables. Ils fonctionnent généralement sur le principe de l'électro-aimant et utilisent essentiellement des circuits magnétiques à base de fer et une bobine d'excitation. Ils présentent plusieurs 5 inconvenients. Leur technologie est complexe (bobine, matériau magnétique, aimant permanent dans certains cas, etc...). Leur consommation est importante. Ils nécessitent également une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

10 On distingue deux configurations de déplacement du contact : un déplacement vertical et un déplacement horizontal.

Dans le cas d'un déplacement vertical, le déplacement se fait hors du plan des pistes RF. Le 15 contact se fait sur le dessus ou sur le dessous des pistes. Cette configuration présente l'avantage que la métallisation du plot de contact est facile à réaliser (dépôt à plat) et, par conséquent, la résistance de contact est faible. Cette configuration est cependant 20 mal adaptée à la réalisation de la fonction de commutateur à double contact. Le contact sur le dessus est en effet difficile à obtenir. Il passe généralement par l'utilisation d'un contact sur le capot. Cette configuration présente aussi une faible compatibilité à 25 l'intégration. En effet, pour les commutateurs résistifs, on utilise classiquement des pistes et des contacts avec une métallisation en or (bonnes propriétés électriques, pas d'oxydation). Ce métal n'est cependant pas compatible à l'intégration alors 30 qu'il intervient quasiment dès le début de la technologie pour ce type de configuration. Il n'y a pas

d'optimisation possible du contact. Sa surface ne peut être que plane. La raideur de la poutre formant le contact est mal contrôlée. Cette raideur est conditionnée par la forme finale de la poutre qui 5 dépend de la topologie d'une couche sacrificielle et qui dépend elle-même de la forme et de l'épaisseur des pistes situées en dessous. On se retrouve généralement avec un profil de poutre « chahuté » qui accroît sensiblement la raideur du commutateur et donc ses 10 conditions d'actionnement.

Dans le cas d'un déplacement horizontal, le déplacement de fait dans le plan des pistes. Le contact se fait sur le flanc des pistes. Cette configuration est bien adaptée à un double contact, moyennant un 15 actionneur symétrique. La métallisation « or » peut se faire en toute dernière étape technologique. Toutes les étapes précédentes peuvent être compatibles avec la réalisation de circuits intégrés. La forme du contact est déterminée lors de l'étape de photolithographie. On 20 peut avoir par exemple un contact arrondi pour rendre ponctuel le contact et limiter ainsi la résistance de contact. La forme de la poutre est déterminée lors de l'étape de photolithographie. Sa raideur est de ce fait bien contrôlée. Par contre, la métallisation sur le 25 flanc est délicate. La résistance de contact peut de ce fait être mal contrôlée. Cette configuration est inadaptée à un actionnement électrostatique à cause des surfaces d'actionnement en regard très réduites.

Le nombre d'états d'équilibre est une autre 30 caractéristique du mouvement des commutateurs. Le cas standard est celui où l'actionneur n'a qu'un seul état



d'équilibre. Ceci implique qu'un des deux états du commutateur (commuté ou non commuté) nécessite une alimentation en tension continue pour le maintien en position. L'arrêt de l'excitation replace la 5 commutateur dans sa position d'équilibre.

Le cas bistable est le cas où l'actionneur a deux états d'équilibre distincts. L'avantage de ce mode de fonctionnement est que les deux positions « fermé » et « ouvert » du commutateur sont stables et 10 ne nécessitent pas d'alimentation tant que l'on ne bascule pas d'un état à l'autre.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Il est proposé, selon la présente 15 invention, un micro-commutateur bistable, à faible consommation et à déplacement horizontal. Ce micro-commutateur est particulièrement bien adapté au domaine de la téléphonie mobile et au domaine spatial.

L'invention a donc pour objet un micro-commutateur MEMS bistable réalisé sur un substrat et apte à raccorder électriquement les extrémités d'au moins deux pistes conductrices, comprenant une poutre suspendue au-dessus de la surface du substrat, la poutre étant encastrée à ses deux extrémités et étant 20 contrainte en compression quand elle est en position non déformée, la poutre possédant des moyens formant contact électrique disposés pour réaliser une connexion latérale avec les extrémités des deux pistes conductrices lors d'une déformation de la poutre dans 25 une direction horizontale par rapport à la surface du substrat, le micro-commutateur possédant des moyens 30

d'actionnement de la poutre pour la placer soit dans une première position déformée, correspondant à un premier état stable, soit dans une deuxième position déformée, correspondant à un deuxième état stable et 5 opposée à la première position déformée par rapport à la position non déformée, les moyens formant contact électrique assurant la connexion des extrémités des deux pistes conductrices lorsque la poutre est dans sa première position déformée.

10 Le micro-commutateur peut être un micro-commutateur double. Dans ce cas, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux premières pistes conductrices, la deuxième position déformée correspond à la connexion des 15 extrémités de deux deuxièmes pistes conductrices.

Il peut être un micro-commutateur simple. Dans ce cas, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux pistes conductrices, la deuxième position déformée correspond 20 à une absence de connexion.

Selon un premier mode de mise en œuvre, la poutre est en matériau diélectrique ou semiconducteur et les moyens formant contact électrique sont formés d'un plot électriquement conducteur et solidaire de la 25 poutre. Les moyens d'actionnement de la poutre peuvent comprendre des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame. Chaque actionneur thermique peut alors comprendre un pavé de matériau conducteur thermique en contact intime avec une résistance électrique. Les 30 moyens d'actionnement de la poutre peuvent comprendre des moyens pour mettre en œuvre des forces

électrostatiques. Ils peuvent comprendre des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame et des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

5 Selon un deuxième mode de mise en œuvre, la poutre est en matériau électriquement conducteur. Les moyens d'actionnement de la poutre peuvent alors comprendre des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

10 Les moyens formant contact électrique peuvent avoir une forme permettant de s'encastrer entre les extrémités des pistes conductrices à connecter. Dans ce cas, les extrémités des pistes conductrices peuvent posséder une flexibilité permettant d'épouser 15 la forme des moyens formant contact électrique lors d'une connexion.

Le micro-commutateur peut aussi comprendre des moyens formant ressort de relaxation pour au moins l'une des extrémités encastrées de la poutre.

20 Les moyens formant contact électrique peuvent être des moyens assurant un contact ohmique ou des moyens assurant un contact capacitif.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres 25 avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue de dessus d'une 30 première variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 2 montre le micro-commutateur de la figure 1 dans un premier état stable de fonctionnement,

5 - la figure 3 montre le micro-commutateur de la figure 1 dans un deuxième état stable de fonctionnement,

- la figure 4 est une vue de dessus d'une deuxième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

10 - la figure 5 est une vue de dessus d'une troisième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- La figure 6 est une vue de dessus d'un micro-commutateur simple selon la présente invention,

15 - la figure 7 est une vue de dessus d'une quatrième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 8 est une vue de dessus d'une cinquième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 9 est une vue de dessus d'une sixième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

20 - la figure 10 est une vue de dessus d'un micro-commutateur double correspondant à la première variante mais pourvu de contacts optimisés,

- la figure 11 montre le micro-commutateur de la figure 10 dans un premier état stable de fonctionnement.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La suite de la description portera à titre d'exemple sur des micro-commutateurs à contact ohmique. Cependant, l'homme du métier n'aura aucun problème pour 5 appliquer l'invention à des micro-commutateurs à contact capacitif.

La figure 1 est une vue de dessus d'une première variante de micro-commutateur double selon la première invention.

10 Le micro-commutateur est réalisé sur un substrat 1 dont seulement une partie est représentée par souci de simplification. Ce micro-commutateur est un double commutateur. Il est destiné à réaliser une connexion soit entre les extrémités 12 et 13 des pistes conductrices 2 et 3, soit entre les extrémités 14 et 15 15 des pistes conductrices 4 et 5.

Le micro-commutateur de la figure 1 comprend une poutre 6 en matériau diélectrique ou semiconducteur. Elle est située dans le plan des pistes conductrices. La poutre est encastrée à ses deux 20 extrémités dans des parties surélevées du substrat 1. Elle est représentée dans sa position initiale et est alors soumise à une contrainte en compression. Cette contrainte peut être induite par les contraintes intrinsèques des matériaux utilisés pour réaliser la 25 structure mobile du micro-commutateur, c'est-à-dire la poutre et les éléments associés (actionneurs).

La poutre représentée est de section rectangulaire. Elle supporte sur sa face dirigée vers 30 les pistes 2 et 3 (c'est-à-dire sur l'un de ses flancs) des actionneurs 20 et 30 et, sur sa face dirigée vers

les pistes 4 et 5 (c'est-à-dire sur son autre flanc), des actionneurs 40 et 50. Les actionneurs sont situés près des zones d'encastrement de la poutre. Chaque actionneur est constitué d'un pavé bon conducteur 5 thermique et d'une résistance électrique. Ainsi, l'actionneur 20 comprend un pavé 21 auquel est associée une résistance 22. Il en va de même pour les autres actionneurs.

La poutre est de préférence réalisée en 10 matériau diélectrique ou semiconducteur à faible coefficient de dilatation thermique. Les pavés des actionneurs thermiques sont de préférence réalisés en matériau métallique à fort coefficient de dilatation thermique pour obtenir un effet bilame à rendement 15 élevé. Le déplacement de la poutre se faisant suivant la direction horizontale (le plan de la figure), les actionneurs sont placés sur les flancs de la poutre et au voisinage des encastrements, toujours dans un souci de rendement thermomécanique.

20 La poutre 6 supporte également, en partie centrale et sur ses flancs, un plot de contact électrique 7, destiné à assurer une connexion électrique du type ohmique entre les extrémités 12 et 13 des pistes 2 et 3, et un plot de contact électrique 25 8 entre les extrémités 14 et 15 des pistes 4 et 5.

A la mise en service du micro-commutateur, un premier jeu d'actionneurs permet de basculer la poutre 6 dans une position correspondant à l'un de ses deux états stables. C'est ce que représente la figure 30 2. Sous l'action des actionneurs 40 et 50 qui induisent un effet bilame dans la poutre 6, celle-ci se déforme

pour se placer dans un premier état stable montré sur la figure. Dans cet état stable, le plot de contact électrique 7 assure une connexion entre les extrémités 12 et 13 des pistes conductrices 2 et 3. Les 5 alimentations des résistances électriques des actionneurs 40 et 50 sont interrompues et la poutre reste dans ce premier état stable.

Pour commuter le micro-commutateur, c'est-à-dire pour le placer dans son deuxième état stable, il 10 faut alimenter les résistances électriques des actionneurs 20 et 30 pour induire un effet bilame contraire au précédent dans la poutre 6. Celle-ci se déforme alors pour se placer dans son deuxième état stable montré sur la figure 3. Dans ce deuxième état 15 stable, le plot de contact électrique 8 assure une connexion entre les extrémités 14 et 15 des pistes conductrices 4 et 5. Les alimentations des résistances électriques des actionneurs 20 et 30 sont interrompues et la poutre reste dans ce deuxième état stable.

20 Les résistances électriques des actionneurs sont de préférences réalisées dans un matériau conducteur présentant une résistivité élevée. Les pistes conductrices et les plots de contact sont réalisés préférentiellement en or pour ses bonnes 25 propriétés électriques et sa fiabilité dans le temps, vis-à-vis de l'oxydation notamment.

Les encastrements de la poutre peuvent être soit rigides (encastrement simple), soit plus ou moins souples en jouant sur la configuration des 30 encastrements, par exemple par l'ajout de ressorts de relaxation. Le fait de pouvoir jouer sur la souplesse

de la poutre permet de contrôler les contraintes dans la poutre aussi bien initialement (contraintes intrinsèques) que pour passer d'un état stable à l'autre (passage par un état de flambage). Ceci a pour 5 avantage de limiter les risques de rupture de la poutre mais également de permettre une limitation de la consommation du micro-commutateur (abaissement de la température de basculement du micro-commutateur). La poutre peut présenter une relaxation de contraintes 10 seulement à l'une de ses extrémités encastrées ou à ses deux extrémités.

La figure 4 est une vue de dessus d'une deuxième variante de micro-commutateur double selon la présente invention et dont les deux extrémités de la 15 poutre présentent un encastrement à relaxation de contraintes.

La variante de réalisation de la figure 4 comprend les mêmes éléments que la variante de réalisation de la figure 2 à l'exception de 20 l'encastrement des extrémités de la poutre. A ce niveau, le substrat 1 présente des fentes de relâchement des contraintes 111 perpendiculaires à l'axe de la poutre. Les fentes 111 procurent une certaine souplesse à la partie du substrat située entre 25 elles et la poutre. Le micro-commutateur est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

L'utilisation de forces électrostatiques peut également être envisagée pour le micro-commutateur selon l'invention soit comme principe d'actionnement, 30 soit comme assistance en position commutée après arrêt de l'alimentation des résistances chauffantes des



actionneurs, pour augmenter la pression du plot de contact électrique et ainsi limiter la résistance de contact.

La figure 5 est une vue de dessus d'une 5 troisième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise des actionneurs à effet bilame et présente une assistance électrostatique. Il est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 201, des pistes 10 202 et 203 à connecter par le plot de contact 207 lors d'un basculement de la poutre 206 dans un premier état stable, des pistes 204 et 205 à connecter par le plot de contact 208 lors d'un basculement de la poutre 206 15 dans un deuxième état stable, des actionneurs 220, 230 et 240, 250.

Le micro-commutateur de la figure 5 comporte en outre des électrodes permettant l'application de forces électrostatiques. Ces 20 électrodes sont distribuées sur la poutre et sur le substrat. La poutre 206 supporte sur un premier flanc des électrodes 261 et 262 et, sur un deuxième flanc, des électrodes 263 et 264. Ces électrodes sont situées entre les actionneurs thermiques et les plots de 25 contact électrique. Le substrat 201 supporte des électrodes 271 à 274 en regard de chaque électrode supportée par la poutre 206. L'électrode 271 possède une partie en regard de l'électrode 261, cette partie n'étant pas visible sur la figure, et une partie 30 destinée à sa connexion électrique, cette partie étant visible sur la figure. Il en va de même pour les

électrodes 272, 273 et 274 par rapport aux électrodes 262, 263 et 264 respectivement.

On remarque que les électrodes 271 à 274 ont une forme qui correspond à la forme de la poutre déformée. Ceci permet de limiter les tensions d'actionnement ou de maintien (électrodes à entrefer variable).

Le micro-commutateur peut être mis dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 202 et 203 par le plot de contact 207, au moyen des actionneurs thermiques 240 et 250 qui ne sont mis en service que pour obtenir le premier état stable. L'application d'une tension entre les électrodes 261 et 271 d'une part et entre les électrodes 262 et 272 d'autre part assure une diminution de la résistance de contact entre le plot 207 et les pistes 202 et 203.

Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable au moyen des actionneurs 220 et 230 qui ne sont mis en service que pour obtenir le basculement du premier état stable vers le deuxième état stable. L'application d'une tension entre les électrodes 263 et 273 d'une part et entre les électrodes 264 et 274 d'autre part assure une diminution de la résistance de contact entre le plot 208 et les pistes 204 et 205.

La figure 6 est une vue de dessus d'un micro-commutateur simple selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise des actionneurs à effet bilame, sans assistance électrostatique. Il est

représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 301, des pistes 302 et 303 à connecter par le plot de contact 307 lors 5 d'un basculement de la poutre 306 dans un premier état stable, le deuxième état stable correspond à une absence de connexion. On reconnaît également des actionneurs 320, 330 et 340, 350.

La figure 7 est une vue de dessus d'une 10 quatrième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise uniquement des actionneurs à effet électrostatique. Il est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

15 On reconnaît le substrat 401, des pistes 402 et 403 à connecter par le plot de contact 407 lors d'un basculement de la poutre 406 dans un premier état stable et des pistes 404 et 405 à connecter par le plot de contact 408 lors d'un basculement de la poutre 406 20 dans un deuxième état stable.

Le micro-commutateur de la figure 7 comporte des électrodes permettant l'application de forces électrostatiques. Ces électrodes sont distribuées sur la poutre et le substrat. La poutre 406 25 supporte sur un premier flanc des électrodes 461 et 462 et, sur un deuxième flanc, des électrodes 463 et 464. Ces électrodes sont situées de chaque côté des plots de contact électrique 407 et 408. Le substrat 401 supporte des électrodes 471 à 474 en regard de chaque électrode 30 supportée par la poutre 406. L'électrode 471 possède une partie en regard de l'électrode 461, cette partie

n'étant pas visible sur la figure, et une partie destinée à sa connexion électrique, cette partie étant visible sur la figure. Il en va de même pour les électrodes 472, 473 et 474 par rapport aux électrodes 5 462, 463 et 464 respectivement.

Le micro-commutateur peut être mis dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 402 et 403 par le plot de contact 407, par application d'une tension 10 entre les électrodes 461 et 471 d'une part et entre les électrodes 462 et 472 d'autre part. Une fois que la poutre a basculé dans son premier état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite de façon à diminuer la résistance de contact entre le plot 15 407 et les pistes 402 et 403.

Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable par application d'une tension entre les électrodes 463 et 473 d'une part et entre les électrodes 464 et 474 d'autre part (et suppression de 20 la tension d'assistance électrostatique de maintien dans le premier état stable si cette assistance était utilisée). Une fois que la poutre a basculé dans son deuxième état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite comme précédemment.

25 La figure 8 est une vue de dessus d'une cinquième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Cette cinquième variante est une version optimisée de la variante précédente. Les mêmes références qu'à la ligne précédente ont été conservées 30 pour désigner les mêmes éléments.

Les électrodes 471', 472', 473' et 474' ont la même fonction que les électrodes correspondantes 471, 472, 473 et 474 du micro-commutateur de la figure 7. Cependant, elles ont une forme qui correspond à la 5 forme de la poutre déformée. Ceci permet de limiter les tensions d'actionnement ou de maintien (électrodes à entrefer variable).

La figure 9 est une vue de dessus d'une sixième variante de micro-commutateur double selon la 10 présente invention. Il est représenté dans sa position initiale avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 501, des pistes 502 et 503 à connecter par le plot de contact 507 lors d'un basculement de la poutre 506 dans un premier état 15 stable et des pistes 504 et 505 à connecter par le plot de contact 508 lors d'un basculement de la poutre 506 dans un deuxième état stable.

La poutre 506 est dans cette variante une poutre métallique, par exemple en aluminium, supportant 20 sur ses flancs les plots de contact 507 et 508. Le basculement de la poutre dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 502 et 503 s'obtient en appliquant une tension de basculement entre la poutre 506 servant 25 d'électrode et les électrodes 571 et 572. Une fois que la poutre a basculé dans son premier état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite de façon à diminuer la résistance de contact entre le plot 507 et les pistes 502 et 503.

30 Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable par application d'une tension

entre la poutre 506 et les électrodes 573 et 574 (et suppression de la tension d'assistance électrostatique de maintien dans le premier état stable si cette assistance était utilisée). Une fois que la poutre a 5 basculé dans son deuxième état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite comme précédemment. Pour cette variante de micro-commutateur, l'actionnement électrostatique a été optimisé par la forme donnée aux électrodes 571 à 574.

10 La figure 10 est une vue de dessus d'un micro-commutateur double correspondant à la première variante mais pourvu de contacts optimisés. Le micro-commutateur est représenté dans sa position initiale avant sa mise en service. Les mêmes références qu'à la 15 figure 1 ont été conservées pour désigner les mêmes éléments.

On remarque sur cette figure que les extrémités 12', 13', 14', et 15' des pistes conductrices respectivement 2, 3, 4 et 5 ont été 20 optimisées pour assurer un meilleur contact électrique avec les plots de contact 7' et 8'. Ainsi, les plots de contact 7' et 8' ont une forme plus large à leur base (c'est-à-dire près de la poutre) qu'à leur sommet. Ils peuvent ainsi s'encastrer plus facilement entre les 25 extrémités 12', 13' et 14', 15' qui sont, elles, pourvues d'un congé d'encastrement.

Les extrémités des pistes conductrices peuvent également être légèrement flexibles pour épouser la forme du plot de contact et assurer ainsi un 30 meilleur contact électrique. C'est ce que montre la

figure 11 où le micro-commutateur est montré dans un premier état stable.

Le micro-commutateur selon la présente invention présente les avantages suivants.

5 Son fonctionnement nécessite une faible consommation du fait de la bi-stabilité.

Les variantes à actionneur thermique possèdent un rendement d'actionnement élevé. Leur temps de commutation est faible dans la mesure où il n'est 10 pas nécessaire de monter très haut en température pour faire basculer la poutre. Ils ont aussi à faible tension de basculement lorsque des actionneurs électrostiques sont associés aux actionneurs thermiques. Ceci est dû :

15 - à l'utilisation de l'effet bilame thermique ;

- à l'utilisation de résistances chauffantes intégrées sur la poutre et localisées sur (ou au voisinage strict) des parties à fort coefficient 20 de dilatation thermique du bilame (blocs métalliques) permettant d'avoir le rendement électrothermique le plus élevé possible (pertes thermiques les plus faibles) ;

- à l'utilisation d'une poutre 25 diélectrique, à faible conductivité thermique, évitant une dissipation thermique importante en dehors de la zone du bilame.

On utilise donc dans le cas de l'invention, à la fois la différence de dilatation thermique de deux 30 matériaux différents, mais également l'application et

le conditionnement de la température des résistances chauffantes au niveau du bilame.

L'invention offre la possibilité d'obtenir un commutateur double.

5 Elle offre la possibilité d'obtenir un commutateur où la résistance de contact peut être optimisée :

10 - par la forme qui peut être donnée aux plots de contact et aux extrémités des pistes à commuter, et éventuellement à la souplesse de la zone de contact qui permet un contact plus « adapté » entre plots de contact et pistes ;

15 - par la possibilité de l'ajout d'électrodes « d'assistance » de forme adaptée qui permettent d'obtenir une forte pression sur le plot de contact avec une faible tension aux bornes de ces électrodes.

20 La réalisation des micro-commutateurs selon l'invention présente une forte compatibilité avec les procédés de réalisation des circuits intégrés (métallisations « or » en fin de procédé de fabrication si nécessaire).

25 La bi-stabilité que présente le micro-commutateur est parfaitement contrôlée pour deux raisons. La première raison est que la bi-stabilité est obtenue par le fait que la poutre doit être en contrainte de compression. Cette contrainte est amenée par les matériaux constitutifs du commutateur (forme, épaisseur). Si la poutre est conçue de manière parfaitement symétrique, et si la réalisation de chacun des deux jeux d'actionneurs est faite lors du même

dépôt, la contrainte ne peut être que parfaitement symétrique (même forme, même épaisseur et symétrie des actionneurs). On est donc en présence d'un dispositif à même de ne pas privilégier un état stable par rapport à 5 un autre état qui serait moins stable. La deuxième raison est qu'il est possible de contrôler la valeur de la contrainte de compression par la nature du dépôt et également par la conception, en ajoutant des « ressorts » de relâchement de contrainte.

10 Le micro-commutateur selon l'invention peut avantageusement être réalisé sur un substrat de silicium. La partie encastrement et la poutre peuvent être réalisées en Si_3N_4 , SiO_2 ou en silicium polycristallin. Les pistes conductrices, les plots de 15 contact, les électrodes, les actionneurs thermiques peuvent être réalisés en or, en aluminium ou en cuivre, en nickel, matériaux pouvant être déposés sous vide ou par voie électrochimique (électrolyse, dépôt autocatalytique). Les résistances chauffantes peuvent 20 être réalisées en TaN , TiN ou en Ti .

A titre d'exemple, un procédé de réalisation d'un micro-commutateur ohmique à actionnement thermique sur un substrat de silicium peut comprendre les étapes suivantes :

25 - dépôt d'une couche d'oxyde de 1 μm d'épaisseur par PECVD sur le substrat,

- lithographie et gravure d'une cavité en vue d'obtenir l'encastrement,

- dépôt d'une couche de polyimide de 1 μm 30 d'épaisseur, servant de couche sacrificielle,

- planarisation sèche ou polissage mécano-chimique (CMP) de la couche sacrificielle,
- dépôt d'une couche de SiO₂ de 3 µm d'épaisseur,

5 - gravure de cette couche de SiO₂ pour obtenir des ouvertures pour les actionneurs, les plots de contact et les pistes conductrices,

- dépôt d'une couche d'aluminium de 3 µm d'épaisseur,

10 - planarisation par CMP de la couche d'aluminium jusqu'à révéler la couche de SiO₂,

- dépôt d'une couche de SiO₂ de 0,15 µm d'épaisseur,
- dépôt d'une couche de TiN de 0,2 µm d'épaisseur,

15 - litho-gravure des résistances chauffantes dans la couche de TiN,

- dépôt d'une couche de SiO₂ de 0,2 µm d'épaisseur,

20 - litho-gravure de cette couche de SiO₂ pour obtenir des plots de contact des résistances chauffantes,

- litho-gravure du SiO₂ avec arrêt sur la couche sacrificielle pour obtenir la poutre,

25 - dépôt d'un bicouche Cr/Au de 0,3 µm d'épaisseur,

- litho-gravure des pistes conductrices et des plots de contact,
- gravure de la couche sacrificielle pour dégager la poutre.

Selon un autre exemple de réalisation, un procédé de réalisation d'un micro-commutateur à actionnement thermique sur un substrat de silicium peut comprendre les étapes suivantes :

- 5 - dépôt d'une couche d'oxyde de 1 µm d'épaisseur par PECVD sur le substrat,
- lithographie par gravure d'une cavité en vue d'obtenir l'encastrement,
- dépôt d'une couche de polyimide de 1 µm d'épaisseur, servant de couche sacrificielle,
- 10 - planarisation sèche ou polissage mécano-chimique (CMP) de la couche sacrificielle,
- dépôt d'une couche de SiO₂ de 3 µm d'épaisseur,
- 15 - gravure de cette couche de SiO₂ pour obtenir des ouvertures pour les actionneurs,
- dépôt d'une couche d'aluminium de 3 µm d'épaisseur,
- planarisation par CMP des actionneurs,
- 20 - dépôt d'une couche de TiN de 0,2 µm d'épaisseur,
- litho-gravure des résistances chauffantes dans la couche de TiN,
- dépôt d'une couche de SiO₂ de 0,2 µm d'épaisseur,
- 25 - litho-gravure de cette couche de SiO₂ pour obtenir des plots de contact des résistances chauffantes,
- litho-gravure de cette couche de SiO₂ sur une profondeur de 3,2 µm pour obtenir la poutre,

- dépôt d'un tricouche Ti/Ni/Au de 1 µm d'épaisseur,
- litho-gravure des pistes conductrices et des plots de contact,
- 5 - gravure de la couche sacrificielle pour dégager la poutre.

REVENDICATIONS

1. Micro-commutateur MEMS bistable réalisé sur un substrat (1) et apte à raccorder électriquement les extrémités (12, 13, 14, 15) d'au moins deux pistes conductrices (2, 3, 4, 5), comprenant une poutre (6) suspendue au-dessus de la surface du substrat, la poutre étant encastrée à ses deux extrémités et étant contrainte en compression quand elle est en position non déformée, la poutre (6) possédant des moyens formant contact électrique (7, 8) disposés pour réaliser une connexion latérale avec les extrémités des deux pistes conductrices lors d'une déformation de la poutre dans une direction horizontale par rapport à la surface du substrat, le micro-commutateur possédant des moyens d'actionnement (20, 30, 40, 50) de la poutre pour la placer soit dans une première position déformée, correspondant à un premier état stable, soit dans une deuxième position déformée, correspondant à un deuxième état stable et opposée à la première position déformée par rapport à la position non déformée, les moyens formant contact électrique (7, 8) assurant la connexion des extrémités (12, 13, 14, 15) des deux pistes conductrices (2, 3, 4, 5) lorsque la poutre est dans sa première position déformée.

2. Micro-commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant un micro-commutateur double, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités (12, 13) de deux premières pistes conductrices (2, 3), la deuxième

position déformée correspond à la connexion des extrémités (14, 15) de deux deuxièmes pistes conductrices (4, 5).

5 3. Micro-commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant un micro-commutateur simple, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux pistes conductrices (302, 303), la deuxième position déformée 10 correspond à une absence de connexion.

15 4. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la poutre (6) est en matériau diélectrique ou semiconducteur et les moyens formant contact électrique sont formés d'un plot (7, 8) électriquement conducteur et solidaire de la poutre.

20 5. Micro-commutateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des actionneurs thermiques (20, 30, 40, 50) utilisant un effet bilame.

25 6. Micro-commutateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque actionneur thermique (20) comprend un pavé de matériau conducteur thermique (21) en contact intime avec une résistance électrique (22).

30 7. Micro-commutateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de

la poutre comprennent des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques (271, 272, 273, 274 ; 261, 262, 263, 264).

5 8. Micro-commutateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame et des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

10

 9. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la poutre (506) est en matériau électriquement conducteur.

15

 10. Micro-commutateur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques (506 ; 571, 572, 573, 574).

20

 11. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique (7', 8') ont une forme permettant de s'encastrer entre les extrémités (12', 13', 14', 15') des pistes conductrices (2, 3, 4, 5) à connecter.

30

 12. Micro-commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que les extrémités (12', 13', 14', 15') des pistes conductrices (2, 3, 4, 5) possèdent une flexibilité permettant d'épouser la

forme des moyens formant contact électrique (7', 8') lors d'une connexion.

13. Micro-commutateur selon l'une
5 quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens formant ressort de relaxation (111) pour au moins l'une des extrémités encastrées de la poutre (106).

10 14. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique sont des moyens assurant un contact ohmique.

15 15. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique sont des moyens assurant un contact capacitif.

1 / 4

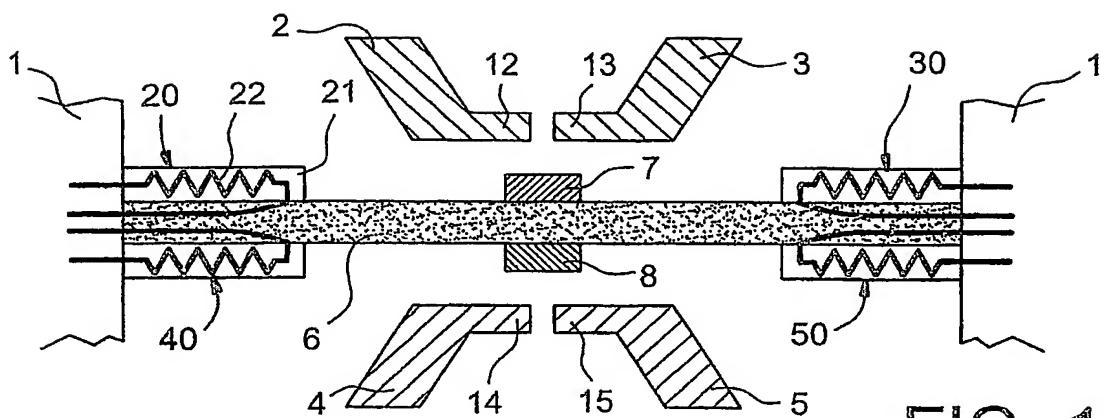


FIG. 1

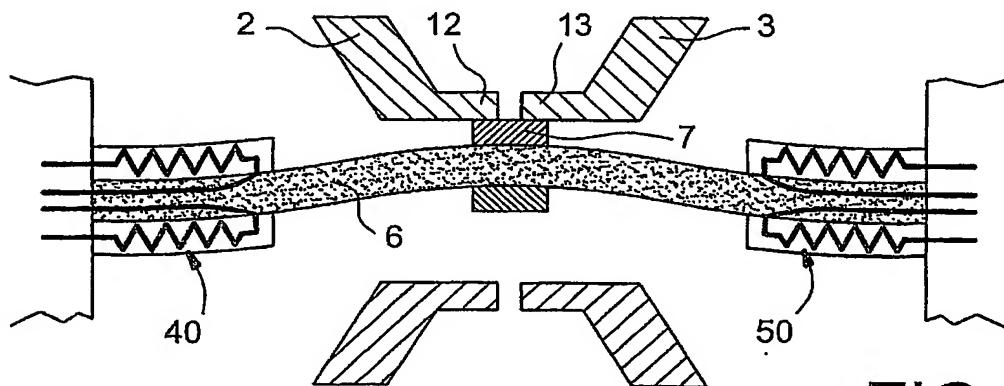


FIG. 2

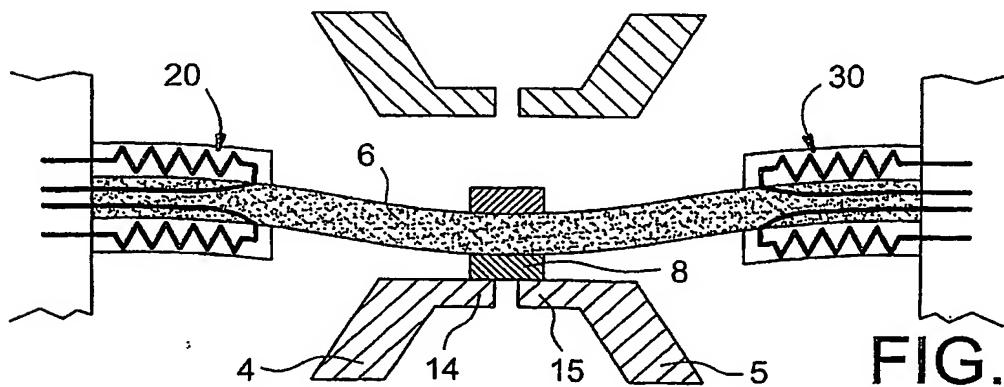


FIG. 3

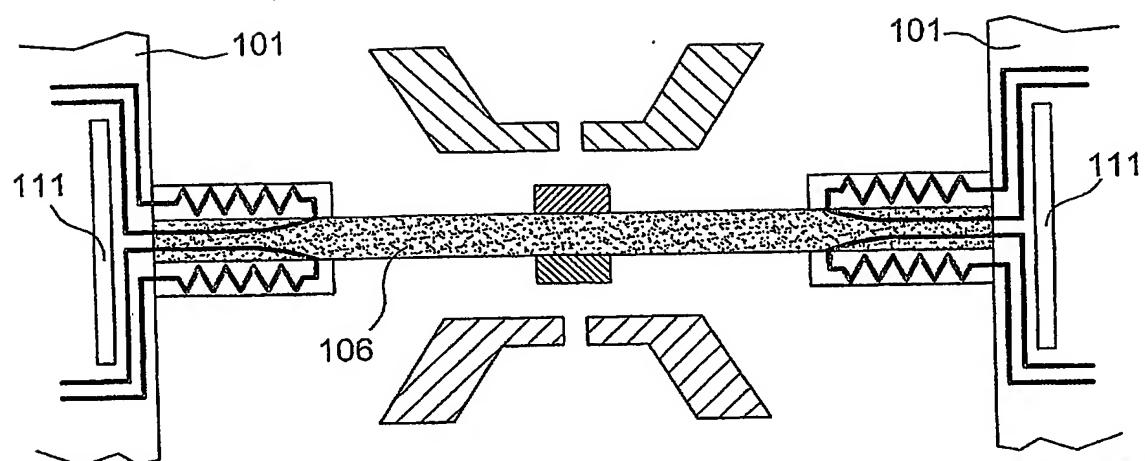


FIG. 4

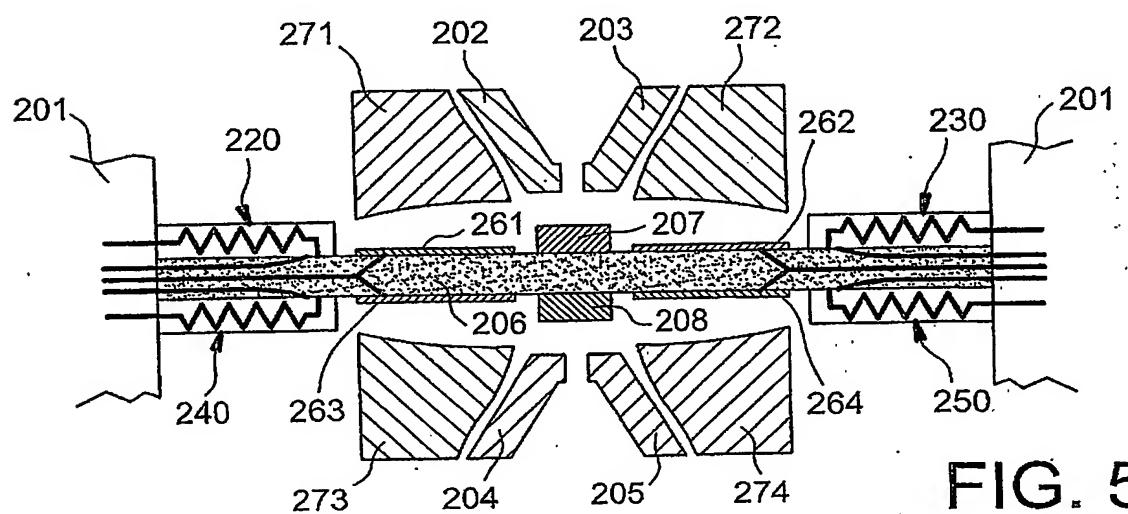


FIG. 5

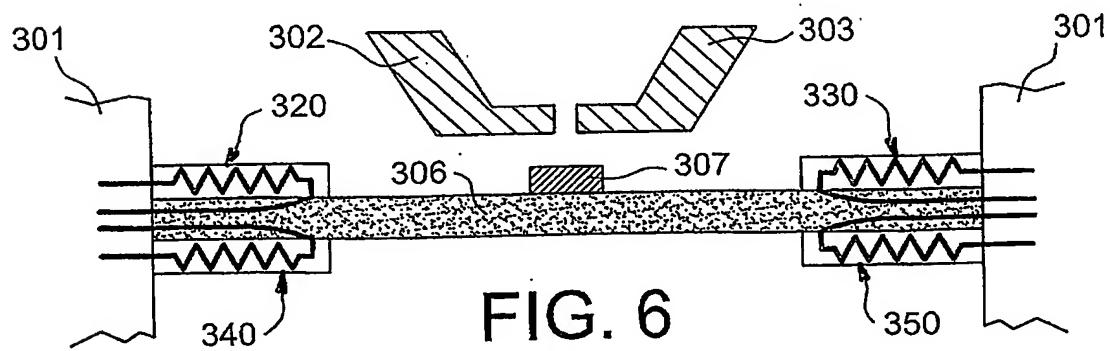
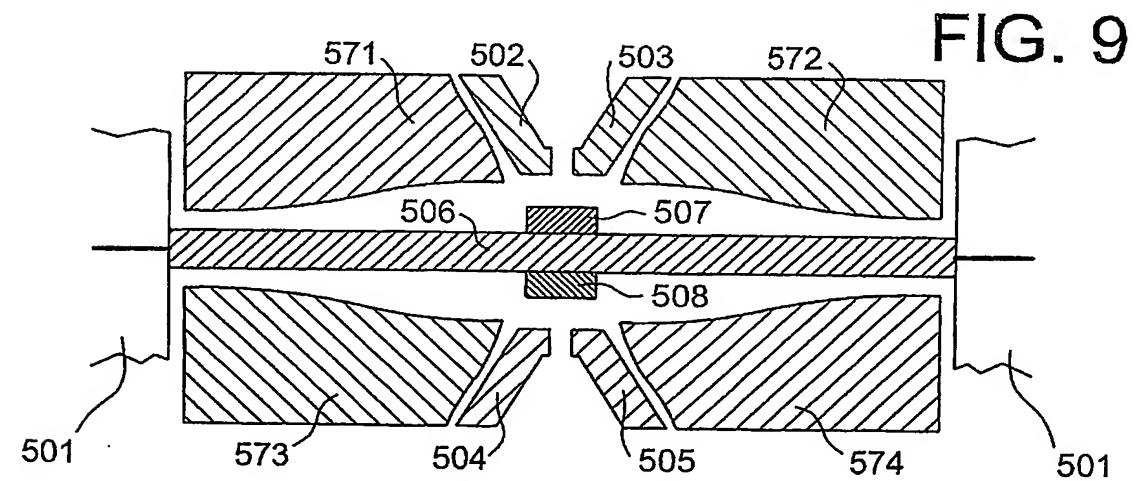
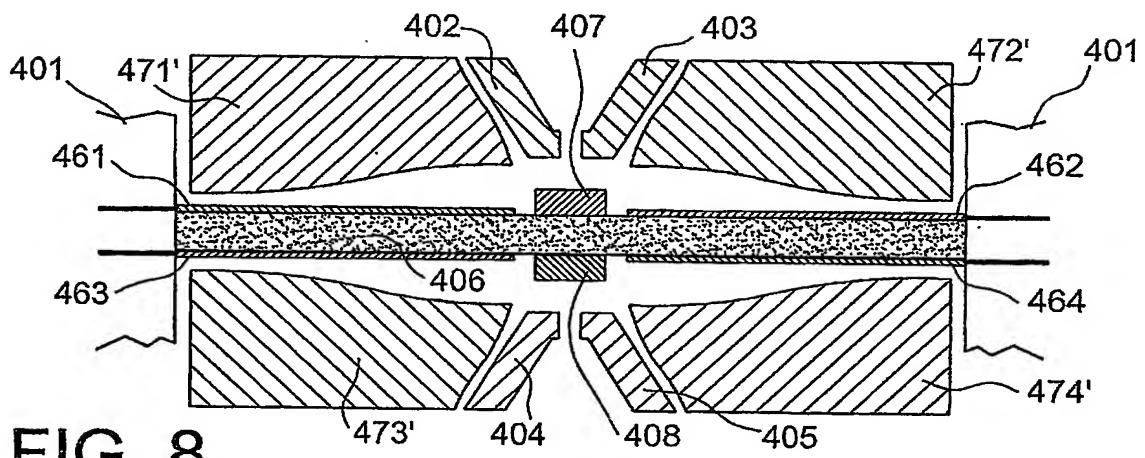
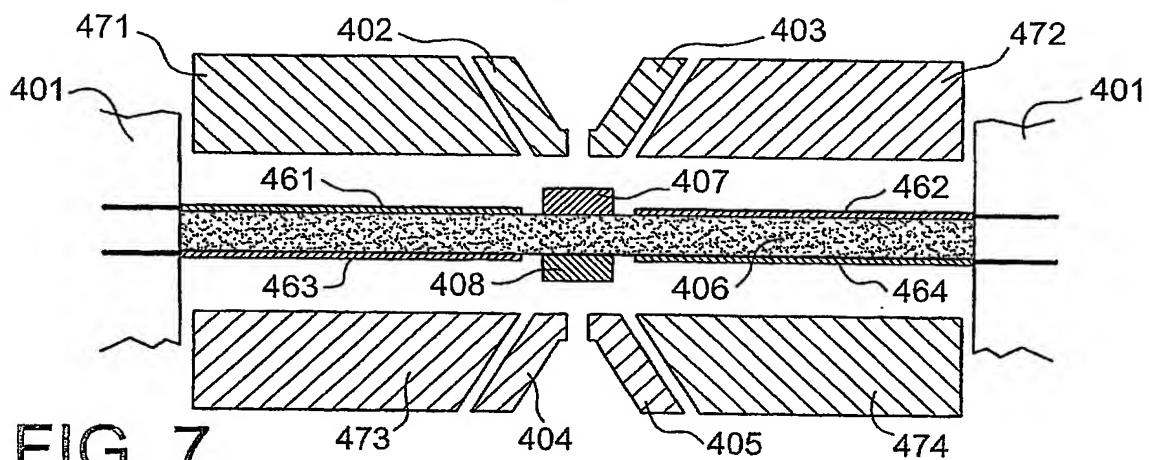


FIG. 6

1er dépôt

3 / 4



4 / 4

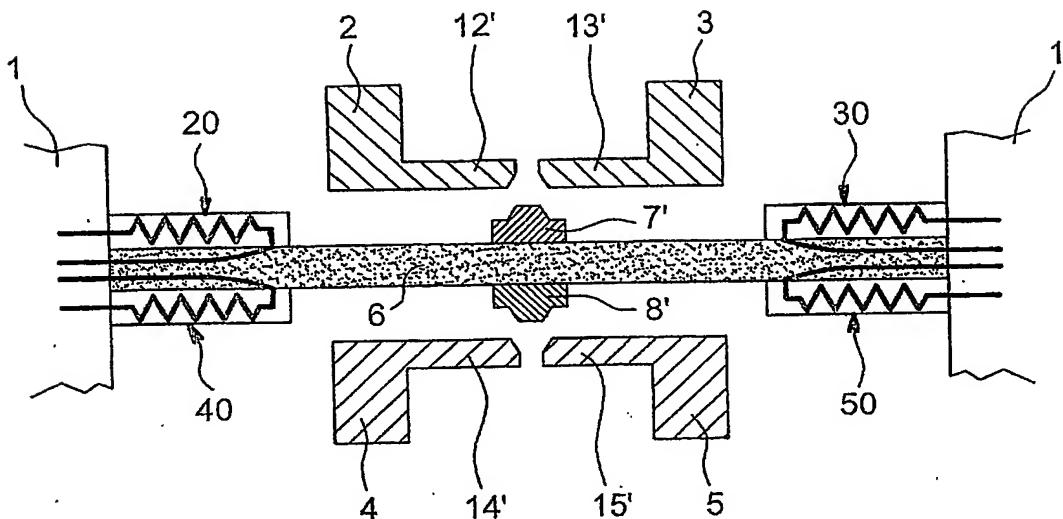


FIG. 10

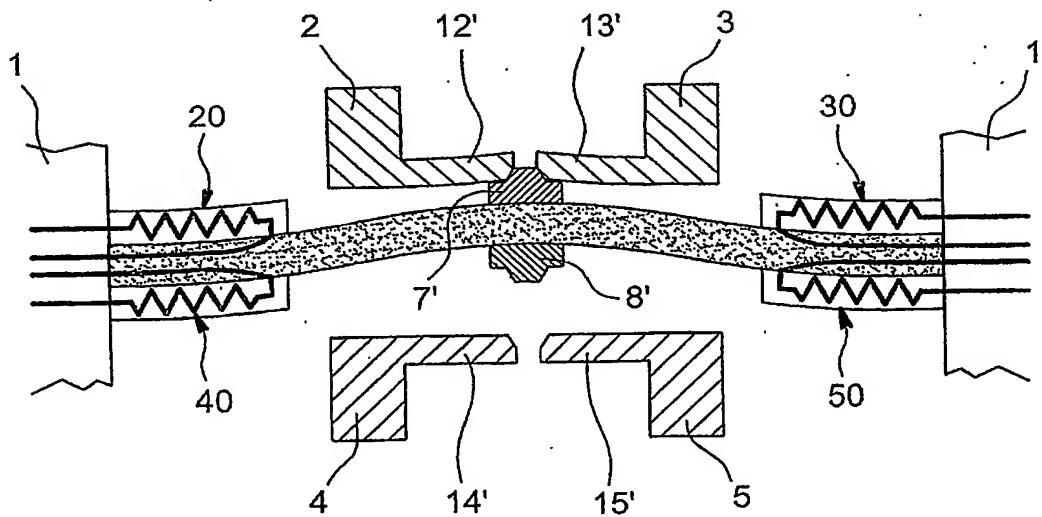


FIG. 11



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 270601

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|
| Vos références pour ce dossier (facultatif) | B14265.3/JL |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL | 03.50278 DU 01.07.2003 |
| TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) | |
| MICRO-COMMUTATEUR BISTABLE A FAIBLE CONSOMMATION. | |

LE(S) DEMANDEUR(S) :

COMMISSRIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
31/33 rue de la Fédération
75752 PARIS 15ème

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 Nom | ROBERT | |
| Prénoms | Philippe | |
| Adresse | Rue | 9,rue Louis Vidal |
| | Code postal et ville | 13 810 0 GRENOBLE |
| Société d'appartenance (facultatif) | | |
| 2 Nom | | |
| Prénoms | | |
| Adresse | Rue | |
| | Code postal et ville | _____ |
| Société d'appartenance (facultatif) | | |
| 3 Nom | | |
| Prénoms | | |
| Adresse | Rue | |
| | Code postal et ville | _____ |
| Société d'appartenance (facultatif) | | |

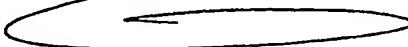
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivie du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)**DU (DES) DEMANDEUR(S)****OU DU MANDATAIRE**

(Nom et qualité du signataire)

PARIS LE 09 JUILLET 2003

P. RICHARD



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.